

呼吸する石——ゼオライト

—平成六年度教養部新入生対象講演会(平成六年七月十五日・札幌大学講堂)—

歌田 実

司会…例年、新入生の皆さんを対象にして教養部、講師をお迎えして講演をお願いしております。今年はちょっと都合によりまして試験直前ということで、新入生と言いましても皆さんはもう新入生気分もすっかり抜けた時期かもしれませんけれども、一年生対象にこれからお話をいただきます。

今日はちょっとむし暑いようでございますけれども、東京も猛暑であります、この猛暑の中わざわざ本学のために歌田先生にお越し願いました。

先生のご紹介については今進藤先生の方をお願いしたいと思えます。あと一時間少々でございますので、じっくり話を聞いてこれから四年間勉強する上での糧にしていただければと思います。よろしくお願いたします。

それでは、進藤先生よろしくお願いたします。

進藤…皆さんこんにちは。今日は東京大学の歌田先生をお迎えしまして一年生に対する講演会ということになっておりまして、歌田先生のご紹介をさせていただきます。

先生は山梨県の生れでありまして、小中学校は山梨県で過ごされ、高校は長野県の諏訪、清陵高校というところです。大学は東京大学に入りまして、その後大学院を出て東京大学理学部で教鞭をとられました。十年前からそこに書いてありますように、東京大学総合研究資料

館というところがあるのですが、そちらの方の教授ということに移らせております。

歌田先生の専門は地質学ということなのですが、主にエネルギー資源を研究されているわけです。原子力にかかわるウラン鉱床、それから地熱発電の地熱の研究というようなことを専門にしております、特に北海道には関係があります。森町というところが道南にありますけれども、そこに濁川という地熱発電所がありますし、さらに八雲、阿寒、それから標津岳などの道内各地の地熱に対する研究を勧められておるといふことで、地質学を専門とされながらそういった応用関係の研究をされております。

私は教養部なのですが、小中高等学校まで席を同じくしてまいりまして、よく学校時代にはいろいろな山などを一緒に歩いた仲間でありますが、多少理系の話ということで、範囲が皆さん普段考えるところと少し違うかもしれませんが、多分おもしろい話だろうと思います。ゆっくりと聞いていただければ幸いです。以上。

歌田…ご紹介いただきました歌田でございます。

皆さんは見事札幌大学に入学されて、まずおめでとうを申し上げます。私は今、進藤先生からご紹介をいただいたように地質学が専門でございます、どちらかといえば理工系ということですが、恐らく皆さ

んが卒業するまでにこういう話を聞くことは二度とないのじゃないか
と思います。おもしろいかどうかわかりませんが、聞いていた
だきたいと思います。

まず題を「呼吸をする石」とつけましたけれども、「石」の話でござ
います。皆さんは石にどういうイメージを持ってもらえるかわかりま
せんが、国語の辞典で「石」をひいてみました。そうしましたところ、
第一に、「岩の小さなかけらが風化をしたり、流水で角がとれたりして
丸くなったもの、砂よりも大きく、普通持ち運び得る大きさのものを
指す」、と記されています。これは後で少しコメントしますけれども、
大体そんなふうに皆さんは「石」を思っているのではないかと思いま
す。

続いて、「硬いもの、無価値のものや、冷酷無情の意にも用いられ
る」、と書かれておりました。そこで私はカチンときまして、「硬いも
の」というのは確かに普通石は硬いのですけれども、「無価値なもの」
というのは当たらないのではないか、少し無知ではないだろうかと思
ったわけがあります。今日は、いかに石というものは価値があるか
ということをお話をしていくつもりでございます。

まず、少し硬い話から入りますけれども、今国語辞典に書かれてい
た石というものの定義は私の目から見ますとあいまいで科学的ではな
いように思います。では、「石」は地質学ではどう定義をされているか
といえますと、実は「石」という用語はありません。「岩石」か「鉱物」
がそれに当たります。したがって、今日は、「岩石」、「鉱物」、「結
晶」ということのお話をします。数式は一つも出てまいりませんので
ご安心いただきたいと思えます。

「岩石」はどう定義されるかと申しますと、一つまたは複数の鉱物
の集合と定義されるわけで、つまり鉱物がわからないと何であるかわ
からないわけです。では、「鉱物」は何であるかといえますと、これは
三つのことで定義をされているわけです。一つは天然に産するという

こと、二つは一定の化学組成と結晶構造を持つ、それから三番目は固
体であるということ、その三つのことを満すものとして「鉱物」が定
義されているわけです。

しかしながら、この鉱物の定義は実際には例外がたくさんあるわけ
でして、現在にはたくさんの人工鉱物というものがございます。つまり
天然には産しないものも鉱物に含められているということでもあります。
それからまた、皆さんよくご存じの水銀は普通鉱物に含めまされ
ども、固体ではありません。そういう例外がございますけれども、鉱物
は一般的には三つのものを満しているわけで、特に本質的なことは、
一定の化学組成と結晶構造を持つということです。

そうしますと、「結晶構造」がわからないといけないわけですが、
も、いろいろの元素が一定の三次元的な並び方を持っているものが、
結晶の「単位」であります。

普通、岩石は目で見えるぐらいの大きさであります、これからお
話します鉱物とか結晶とかいうのは一般的には非常に小さいものであ
ります。鉱物は大きいものは数十センチぐらいのものもありますけれ
ども、普通はもっと小さくて数ミクロンぐらいのオーダーのものまで
あります。ミクロンといえますと十のマイナス六乗メートルというこ
とですから、これは大変小さいわけです。鉱物の性質を決める結晶と
いうことになりますとさらに小さいわけでございまして、単位は普通
数ミクロンから数十ミクロンということになります。したがって目で
見えるような大きさではないわけであります。

実際にはどうやってそんなものを感知するかといえますと、X線を
使って、見るというよりは解析をして、これはこういう構造を持って
いると知ることができます。その一つの例が、皆さんに差し上げまし
たプリントの中に、図1がございます。これはこれからお話をするゼ
オライトの結晶構造の図であります、そんなふうな一定の形を持っ
ているわけがあります。岩石や鉱物が種類によって性質が異なるとい

う本質はどこにあるかといいますと、基本的にはこの化学組成と結晶構造の違いに基づいています。

先ほど申しましたように、本日は無価値のものと辞典に書かれている「石」にも大変人間生活に役立っているものがあり、その中には空気を吸ったり吐いたりして、あたかも生きてるように見えるようなものまであるということを、ゼオライトという石を通してお話をしていきたいと思っています。

主題のゼオライトは実は一つの鉱物というよりも鉱物群で、いろいろのよく似た性質を持つ鉱物の集りにつけられた名前でございます。ゼオライトという名はなぜつけられているかというと、これは加熱をしますとほう砂球のような膨れるという性質を持つ一群でございます。そういう現象にちなんで、ギリシャ語の沸騰するという意味のゼオという言葉と、石を意味する、ライトという言葉を合せてゼオライトとしたものであります。したがって、ゼオライトというのは日本語では沸石と呼ばれるわけです。

天然にどれぐらいの種類のゼオライトがあるかといいますと、約四十種類ぐらいあります。これは化学組成の種類によって幾つに分けるかということが多少違っておりますので、四十ぐらいと思っていたいただきたい。

人工的につくられてたゼオライトというのはどのぐらいあるかというと、約百五十ぐらいあります。それぞれの会社が企業秘密で合成しますので、実際の数はわからないけれども、少なくとも百五十を下ることはなく、天然ゼオライトより合成ゼオライトの方が多い実情です。私どもの立場から言いますと、合成ゼオライトの中には天然のゼオライトとは化学組成がかなりかけ離れたものもありますけれども、いずれもこれからお話をする結晶構造の点で類似点があるということでございます。

ゼオライトをつくっている主要な化学組成は多い順からシリカ

(Si)、アルミナ(Al)、ソーダ(Na)やカリウム(K)などのアルカリ、カルシウム(Ca)やマグネシウム(Mg)などのアルカリ土類、それと水でございます。水が入った鉱物なので含水鉱物と言っております。

ゼオライトの化学組成は鉄が入っていないということを除くと、実は地殻の平均的な化学組成と極めてよく似ています。ですからゼオライトは地殻で鉱物をつくれれば、一番できやすい組成をもつということが言えるわけであります。

ゼオライトが実際に生成する条件は温度も低く圧力も低い条件でございますので、地表付近のいろいろな環境で生成する鉱物です。ですから、非常に普遍的な鉱物であります。後でゼオライトの生成に関しましては少しふれてまいりますけれども、ともかくそんなに珍しいものではないのですが、非常に結晶が細かいために余り皆さんの目にふれることがなくて、ゼオライトは珍しいものじゃないかと思われております。けれども、実際は非常に普遍的な鉱物であります。

ゼオライトがなぜここで取り上げられるかというと、その結晶構造の特徴にあります。差し上げました図1を見ていただきますと、その結晶構造の中に大きな穴、空洞があります。こういう空洞を持っている鉱物は天然にはほかにはほとんどないのです。これが今日お話する主題のいろいろ役に立つという問題、あるいは呼吸をするという性質につながっているわけです。

この空洞、チャンネルと言っていますけれども、空洞にはゼオライトの種類によっていろいろの大きさのものや、形もいろいろのものがあるのです。空洞の一番大きな径はどのぐらいあるかといいますと、○・八nmぐらいの大きさである。ですから、大きな空洞と言いますけれども、たかだかそんなものであります。小さい方は、○・五nmとか○・三nmとかというオーダーですから、ゼオライトは十数ミクロン程度の径の空洞を持つ鉱物であるということです。

これまで鉱物としてのゼオライトについて申し上げたわけですが、今度はゼオライト岩についてでございます。最初の定義に戻れば岩石は一種、または複数の鉱物の組み合わせたものでございまして、ゼオライト岩は必ずしも一つのゼオライトで構成されているとは限らないわけです。時には数種類のゼオライトが入ったゼオライト岩がございますし、実際には多かれ少なかれゼオライト以外の鉱物。例えばシリカ鉱物であるとか、粘土鉱物といった全然構造が違い化学組成も違う鉱物が含まれることがございます。

一般的に申し上げれば、ゼオライトの含有量がなくて不純物が少ないほどゼオライトそのものの特性が発揮されるわけですから、利用という面からいうと価値が高いわけでございます。このように実際に利用が可能なゼオライト岩は、鉱石と呼ばれます。これはメタルの場合も同じで、特別な元素が非常に濃集したものは鉱石と呼ばれます。

そして、鉱石が実際に採取される場所のことを鉱床といえます。金、銀、銅、鉛などの場合も、濃集したものが鉱石であり、鉱石がとれる場所が鉱床であります。

実は我が国は、世界で有数のゼオライト岩の産出国です。図2に示してあるようにたくさんの産地がありますが、これは鉱床、あるいは鉱床まではならないけれども、かなりまとまった産出のある産地だけをプロットしたものが、これだけ日本列島には知られています。特に北海道についてみますと、北の方から、十勝、築別、余市、長万部、松前などの鉱床がかつてゼオライト岩を採掘したり、あるいは現在も採掘をしています。この中で一番有名なのは長万部でございまして、長万部地域では幾つかの鉱山が現在ゼオライト岩を採掘しています。

ゼオライト鉱床がなぜ日本に多いかということに関して、そのでき方の問題をお話しします。実は、日本の場合とほかの国の場合ではでき方（成因）が違ってきます。日本の場合、ゼオライト岩の主な成因は、埋没続成作用であると考えられています。図2で点線で囲っ

てあります地域は、グリーンタフ地域と言っておりますけれども、かつて地質時代に火山活動が盛んで、火山ガラスを多く堆積した地域であります。ゼオライトができるのに一番適した原岩は火山ガラスですが、これが海の中にたまって、だんだん埋没をしていきますと、温度と圧力が上がってきます。この過程（埋没続成作用）で、いろいろな種類のゼオライトが順次できてきます。温度と圧力が上がることによってちょうどゼオライトができやすい条件になり、まずできる種類が、斜プロホル沸石とモルデン沸石でございます。世界的にみて、大きな鉱床は埋没続成作用により生成したものでありまして、これは日本のような造山帯と言われる地域に特徴的なゼオライト岩の生成機構であります。

日本の場合にはほかにもゼオライト岩の成因がありまして、その一つはカルデラ型ゼオライト化作用でございます。皆さん、カルデラは北海道にもたくさんカルデラがあり、よく知っていると思います。火山性カルデラには火山ガラスがたくさんあって、非常に高い温度勾配の地域でありまして、そこでは容易にゼオライト化が起こります。これをカルデラ型ゼオライト化作用といえます。

特に、モルデン沸石は後で申し上げますように、非常に有用なゼオライトですが、これがカルデラで多く産出する特徴があります。図2の分布図に書かれている中でも特に優秀なモルデナイト岩はカルデラ型ゼオライト化作用によってできたものであります。

それからもう一つ日本に特徴的なゼオライトのでき方に熱水変質作用がございました。これは例えば温泉とか地熱地帯などの熱水によってゼオライトは生成します。ただし、熱水性ゼオライトは種類が多少違っています。埋没続成作用やカルデラ型ゼオライト化作用で生成する斜プロホル沸石とかモルデン沸石はソーダの入ったゼオライトですが、けれども、この場合にはカルシウムが多い違った種類のゼオライトが生成するわけです。

ゼオライト岩の成因に関する研究は実は日本が一番進んでいるわけですが、ライバルが全くないわけじゃありません。

ちょうど私も研究をしていた頃、アメリカでも盛んにゼオライト岩の利用を考えて研究を進めておりました。アメリカでは西部のロッキー山脈より西側に主としてゼオライト岩が分布しています。

このゼオライト岩は成因が全く日本の場合と違います。その地域は現在も乾燥地域でございしますが、随分古く、数千万年から乾燥地域に入っておりまして、ほとんど湖が干上って、ソーダやカルシウムが非常に濃集をしてきました。これを塩湖と言っておりますが、特にアルカリの強いアルカリ塩湖というものが沢山存在しています。そこでは化学的に非常に低温条件、ほとんど地表条件下でゼオライトができています。もちろん原岩は火山ガラスなのですが、生成条件が全く違っています。

この成因のゼオライト岩は決してアメリカの西部だけではなく、南米のパタゴニア、北アフリカなど、乾燥地域ではアルカリ塩湖からゼオライトがたくさん生成したことが報告されたわけでありまして。

私も実は、そんな条件でゼオライトができるわけはないと疑い、日本とアメリカの成因の比較をしようじゃないかということになりました。結局わかったことは、日本の成因も事実であるし、アメリカの成因も事実である、両方とも事実であるということになりました。

アメリカ西部のようなアルカリ塩湖でできるゼオライトの種類は、斜方沸石は共通ですが、日本では余りできてこないフリップ沸石とか、エリオン沸石とかいうような違う種類ができてきます。ただし、見た目は全く同じような見かけをしています。これは、一九六〇年代の後半の話でその後、日本もアメリカもずっと今まで研究もしておりますが、現在ではむしろいわゆる発展途上国といえますか、東ヨーロッパや中国などの国でゼオライト岩の研究が活発になっていきます。後から申し上げます土壌改良剤とか、あわよくば工業的な利用をした

いという意気込みで研究がされているわけでございます。

ゼオライトとゼオライト岩の概略は以上ですが、次ぎにゼオライトのどんな特性が利用されているかという話をさせていただきます。

もともとゼオライトの特性が注目された理由は「分子ふるい」の性質のためです。「分子ふるい」というのは一体何であるかと申しますと、図1に示されてますようにゼオライトには数ミクロンの空洞があり、ここにガスとか液体のような流体を通してやりますと、空洞の径より大きな分子は当然通れないで、径より小さいものだけが通り抜けてくる、それでふるいになるということです。モレキュラー・シーブ、と申します。したがって、実際にはこのゼオライトの空洞の大きさを測定することが非常に重要でありました。

ところが、もちろんその径の大きさは重要ですが、大きさだけではないということがわかりました。それはこの空洞に吸着という現象があるということです。吸着のメカニズムは大変に難しいので細かいことは説明いたしません。簡単な例としては空洞の中に電気的なアンバランスがあった場合に、流体の帯ている電極を吸着により相殺するような現象です。とにかくこの空洞に液体中の分子が吸いつけられてしまうものがあることがわかったわけでありまして。

この発見は利用の上では非常に重要なことでありまして、ゼオライトを使った流体の吸着分離といえますけれども、これは分子ふるいと吸着が両方合わさったようなメカニズムであると考えていただければよろしいわけでありまして。その吸着分離が実際にどこで使われているかといえますと、石油化学、石油の精製、鉄鋼の精練、それからガスの製造など非常に幅の広い産業分野において現実に利用されているわけでありまして。

特に、石油化学の分野では分離精製に非常にたくさんのゼオライトを使っているわけですが、残念なことなのですが、これは主として合成

ゼオライトを使われています。天然のゼオライトをなぜ使わないかといひますと、やはり何がしかの不純物が入っているということと、性能を制御するのが難しいということで、実際には合成ゼオライトが使われているわけです。その多量な合成ゼオライトをつくるために化学工業の分野にゼオライト合成という一つの工業が現実に成長しているという状態であります。

石油化学や天然ガス製造に多量なゼオライトがなぜ使われているのかということをお願いしますと、これは基本的には原料に含まれている水分を取り除くためであります。水分をゼオライトに吸着させて取り除いてやり、ガス等を乾燥するわけです。ガスの乾燥過程で水分はゼオライトに吸着されているわけですけれども、これは温度を上げて乾燥するなり、あるいは減圧という方法によってまた吸い出すことができ、つまりゼオライトは水を吸ったり吐いたりしているわけであります。

この水分を吸着分離するという工程は、流体を扱う産業では極めて重要な工程で、これがうまくできませんと、その後の精製工程がうまくできないことになります。例えば炭カルなどいろいろな吸着剤が昔から使われてきましたが、どれに比べてもゼオライト吸着剤は今の時点では最もすぐれたものであると申し上げられるわけです。

私が表題といたしました「呼吸をする石」というのは、ゼオライトが水分を吸着したりガスを吸着したりして分離していく特性を、呼吸をするように表現したものでありまして、特に空気中のものを吸着したり脱着したりする時によく当てはまる言葉であらうと思われまゝ。

皆さんもちろんご承知だと思ひますけれども、空気の組成は、酸素ガスと窒素ガスが主要なものであって、そのほか少量の水分、炭酸ガス、アルゴンとかクリプトンとかいう不活性ガスが含まれているわけです。このうちで酸素ガス、窒素ガス、アルゴンガスは、いろいろの分野で使われているものです。この酸素、窒素、アルゴンなどを分離するために、その予備精製としてゼオライトを用いることがかなり広

く行われています。

予備精製とは何であるかといひますと、空気から余分な水分と炭酸ガスをまずとってしまおうというわけです。これもゼオライトを使い、いい条件下では、水分と炭酸ガスが同時に除去できるという方法が開発されました。従来、水分と炭酸ガスを別々に二段階でやっていたものが、一回で済んでしまうわけで、これも利用上重要なことであります。

しかし、これはメカニズムそのものから見ますと、特に目新しいという方法ではないわけです。これに対しまして、東京大学の田村孝章先生が中心になって考案したものは、ゼオライトを用いて空気中の酸素と窒素とを一遍に分離してしまうという方法であります。これは大変画期的なことであります。この酸素と窒素の分離にはゼオライトの一種であるモルデナイトが使われているわけです。モルデナイトは構造上の空隙が比較的大きいということを利用して盛んに研究された鉱物です。普通ゼオライトによるガスの吸着は電氣的なメカニズムが考え易く、酸素、窒素というような極性のないものが分離するとは誰も考えていませんでした。しかし、ある条件でモルデナイトを処理してやりますと、窒素ガス、水、炭酸ガスを空気中から選択的に吸着をして、酸素ガスとアルゴンは吸着されないということがわかったわけです。

具体的にどういう利用をするかというところ、モルデナイトをいっぱいにした充填した吸着塔をつくり、それに空気を送り込んでやりまゝと酸素ガスとアルゴンだけが通過して出てきまして、窒素ガスや水分、炭酸ガスが吸着されてモルデナイトの中に残るといったことになりました。ですから、酸素ガスだけを独立に分けることができるわけですね。

この場合、モルデナイトにも吸着剤としての性能限界があり、どこまでも窒素を吸着するというわけにはいかず、いっぱいになってしまひます。いっぱいになってしまひますと分離をしなくなります。そういう

場合には、真空ポンプで減圧をしてやりやすくと今度は窒素ガスと水と炭酸ガスが脱着して出てきます。ですから、この操作を加えることによって、酸素ガスと窒素ガスと両方を別々に取り出すことができるわけです。実際には吸着塔を三基作って、交互に吸着と脱着をしてやりやすくと、酸素ガスと窒素ガスを連続的に取り出すことができるわけです。

この田村先生の発明された酸素・窒素分離装置には天然モルデナイトを使いました。実際に天然モルデナイトと合成ゼオライトの値段の比較は大変難しいのですけれども、二桁から三桁違うわけで、天然ゼオライトを使うことによって非常に安価な酸素と窒素をつくることができることになったわけです。ただし、この装置を十分に活用するためには、純度のよいモルデナイト岩が必要で、その調査が非常に重要でありました。

今申しましたように、この装置によって製造される酸素ガス、あるいは窒素ガスは非常に値段が安いということで応用範囲が広いわけです。実際に使われている例としては、酸素ガスが多く、廃水の活性汚泥処理というがございいますが、これについては後でご説明します。その他電気炉で製鋼する際吹き込む酸素、廃棄物の焼却炉などに吹き込む酸素などがあります。また、パルプを漂白する酸素漂白用の酸素としても使われているわけです。それから小さいものと言えば、養魚場で多量のウナギなどを飼っています

と酸欠になり易いので、酸素を吹き込みますがこれにこの安価な酸素ガスが使われています。

産業用以外にも、例えば病院でも多量な酸素ガスを使っていますし、飛行機もエマーゲンシーの時には酸素ガスが出るようになっています。これらの場合には純度の高いものが要求されませんので、こういう装置でできる酸素で十分であります。

最後に残しておきました廃水の活性汚泥処理法は環境問題から非常

に注目をされているものであります。これは廃水に酸素を吹き込みますと好気性のバクテリアが活発に活動して水をきれいにしていくというわけです。実際に下水道処理で国内でも数十カ所でこの装置が稼働しています。かつて外国にも輸出したことがあります。

それから、将来の夢としては、水質が悪化した湖沼とか河川、などにこの装置で作った安価な酸素を付加して、水を清浄化するな環境改善の武器になることも期待されるわけでありまして。これは吸着・分子ふるい特性を主として使った用途でございしますが、ほかにもゼオライトの特性にはたくさん重要なものがあります。

次にイオン交換についてお話します。今度はゼオライトの化学組成の方に注目をするわけですが、化学組成のうちで、ソーダ、カリウムなどのアルカリ、とカルシウム、マグネシウムなどのアルカリ土類は、溶液中の別なイオンと交換する性質があります。

例えば、ゼオライトの中のソーダは溶液中のカルシウムと交換して自分はカルシウムゼオライトになって、逆に水はソーダに富むというふうなことをします。このような交換性陽イオンの量の大小がイオン交換能と呼ばれるものです。

イオン交換能の大きさと、交換する陽イオンはゼオライトの種類によって異なっています。天然ゼオライトは四十種類もあり、いろいろの交換の仕方があり、イオン交換能も高いのでいろいろに利用されています。

例えば非常に重要なのは、放射性廃棄物の中にあるセシウムをイオン交換しゼオライトに閉じ込めるといような用途もあります。実際に工業的に一番多く用いられているのは、洗剤とか肥料の補助剤、ビルダーとしてであります。

洗剤の場合を説明いたしますと、もちろん洗剤ですから主役は汚れ成分を落とすもの、界面活性剤です。ゼオライトは一体何に役に立っているかというと、洗濯をする時に阻害要因になっている洗濯液中の

カルシウムやマグネシウムをイオン交換するわけです。硬水では石鹼で汚れが落ちにくいのはカルシウムやマグネシウムイオンの阻害によるものです。そういうカルシウムやマグネシウムをイオン交換をして逆にアルカリを水の中にふやしてやる、つまり硬水を軟水化するということであります。また洗い出された汚れが再付着することも防ぐ効果があることもわかっています。

現在の洗剤のビルダーとして多量のゼオライトが使われています。

この洗剤のビルダーは色が白くないといけないという制約があります。変な色がついていると多分皆さんはお使いにならないと思います。それから、不純物があつて後でざらざらが残るようなもの、例えばシリカなどが少ないことが要求されるわけです。ですから、もちろん始めは天然ゼオライトを使っていたわけですが、最近では天然ゼオライトの割合がぐんと減って合成ゼオライトが使用されています。

これに対し、農業・水産用には天然ゼオライトが多く使われています。

特に土壤改良剤は多量に利用されてきました。現在も世界的に見て天然ゼオライトが一番使われているのは、土壤改良材としてであります。

酸性土壌を中性化するというのは非常に重要なことでありますが、日本の場合には比較的酸性土壌は少なく土壤改良材はあまり必要ではありません。しかし、北海道には火山性の酸性土壌がかなり広く分布しています。実際には北海道と沖縄に需用があり、多くは海外のフィリピンや、台湾に輸出しているのが日本の実情であります。ゼオライトは酸性土壌をイオン交換で中性化する上に、カリウムのような有用成分を供給する効用があります。十年ぐらい前に地力増進法が定められ、その中にも期待される物質としてゼオライトが明記されています。それから、肥料と同時にゼオライトを用いますと肥料の中の成分を長く保つ、補肥力が増大するので、最近ではゴルフ場などをつくる時に

多く用いられるようになったわけです。日本の場合には、天然ゼオライトといえどもかなり高価でありますので、農業用そのものに利用されるというよりは、こんな高級な用途に利用されることになったと思われるわけです。

一般にゼオライトの農業や水産用の利用には非常に簡単な加工ですみますから安価という長所があります。ゼオライト岩はブルドーザーで掘って、乾燥し、粉砕をするという非常に簡単な工程でございますので、コストがほかのものに比べると安く済むし、量を多く使う点にも適していると言えるわけです。

水産用にも天然ゼオライトがかなり利用されています。主として養魚池などに発生するアンモニアガスをイオン交換で取り除くという用途であります。

それから、現在まだ実用化されているとはいいたいのですけれども、鉱山とか工場廃水中の有害物質を除去するとか、あるいはPhを調整するのにゼオライトのイオン交換は有用です。普通は酸性の溶液が多いわけですから、これを中性化してやるのに非常に有効であるということが研究上わかっているわけです。実際にはなかなか使われるところまで至っていないわけですが、これも天然ゼオライトの環境改善への利用ということで、大きな期待がされているわけであります。

もう一つのゼオライトの有用な特性としまして、触媒作用がございます。現在ゼオライト、特に合成ゼオライトの利用されている特性のうち、経済上一番重要なものは触媒作用と考えられます。

このゼオライトの触媒作用は大変に難しいメカニズムでありまして、普通酸とか塩基というのは液体に解けた場合のPHについていいますが、ゼオライトは固体酸、あるいは固体塩基、どっちにでもなる不思議な両性物質です。実際に工業的に利用されているのはほとんどゼオライトの固体酸としての性質を使っているものであります。

特に、石油精製のプロセスで接触分解の触媒としてゼオライト触媒は欠くことができないものです。石油精製の過程は原油を軽いものから重いものにだんだん分離していき、ガソリン、プロパン、重油などに分離したものを実際は使っているわけです。この分離をするのに接触分解法（フルイド・カタリティック・クラッキング）をやっているわけですが、その時の触媒としてゼオライトが非常にすぐれていて、大体年間の使用量は二万二千トンから三万トンに達しているのではないかと推定をされております。これには合成ゼオライトを主として使っているということを考えますと、非常に大変な量であります。そのほかにも水素分解であるとか石油化学用とか、NOXの還元とかの化学工業に少量の使用がされております。ゼオライトの触媒作用ではまだ研究途上であって結晶構造の空隙のあたりにいろいろメタルをつけてみたりして修飾し、違った触媒をつくるわけです。この競争は大変に熾烈であって、たくさん合成ゼオライト会社がその面で争っている実状です。

最後にこれはまだ実用化されたものではなくて夢みたいな話なのですけれども、非常に変わったことを考えている人がいます。一種の修飾なのですけれども、このゼオライトの空洞、特に細長い穴の両端に別のメタルを入れてやり、半導体をつくろうというものです。現在半導体の研究がある意味で行きづまっているのですね。これからゼオライト半導体をつくろうなんていることを考えている人もいますようであります。

工業的に利用される主要なゼオライトの特性と、それから実際の利用の現状をお話したわけですがすけれども、最後に天然ゼオライトの身近な利用について少お話したいと思ひます。私は天然ゼオライトをもともと扱っているわけですから、どうしても天然のことをお話したいのです。

実は、ゼオライト岩はゼオライトの特性のことを知らずにずっと昔

から使われていたわけです。例えば一番身近の例では建築材としてゼオライト岩は多量に使われてきました。

「大谷石」をご存じかどうか知りませんが、関東地方では広く、よく使われる建築材料で、特にライトが設計した帝国ホテルにふんだんに使われたというところで、非常に有名なわけでありまふ。実際大谷石は古くから使われておりまして、下野の国の国分寺の土台にも使われていました。「大谷石」という名前は栃木県宇都宮市の郊外に大谷というところがございますが、そこで産することから大谷石という名前がつけられています。実際には、大谷石以外にも、それぞれの土地でこれと全く同じ内容の石が建築材として昔からずっと使われてきたわけです。

この大谷石は典型的なゼオライト岩でありまして、実際にはゼオライト、粘土鉱物、シリカ鉱物が混ざった石です。大谷石は先ほどの成因で言えば、埋没続成作用によってできたゼオライト岩であります。大谷石は非常に緑色がきれいで、特に濡れた場合に鮮やかな緑であることや、孔がたくさんあって軽いこととか、割合石としては柔らかく、したがって加工しやすいといういろいろの長所がございますけれども、最も重要なことは吸着性能でありまして、空気中の水分を吸着したり、放出したりして湿度を適当に保つ性質を持っているということです。

ですから、大谷石の呼吸することによって内部は一定の湿度に保たれるので、特に家具などを貯蔵するのに適しているわけであります。

最近はお蔵を持っている家は少なくなってきましたけれども、お蔵をつくる建築材としてはこれ以上のものはなく、漆喰もよく使われまふけれども、大谷石の方がはるかにすぐれているということが言われているわけでありまふ。

先ほど申しましたように、大谷石によく似たゼオライト岩の建築材料としての利用は日本中で見られるわけでございますが、特に日本海に面したグリーンタフ地域ではどこでも普通に使われてきたわけです。

さらに申し上げますと、単に日本だけではなく汎世界的に、建築材として昔から利用されていたらしいことであります。

私が調査に参りました地域では、北米の西部、東ヨーロッパの国々、中近東のトルコ、などでもゼオライト岩は建築材として利用されているのが見られました。実際にはそこで使っている人たちはこれがゼオライト岩であって、ゼオライトの吸着特性が建材としていい優れていることを知っているわけではないわけです。知らずに長く利用してきたということでもあります。

天然ゼオライトを本格的に利用し始めたというのは逆に割合最近の話でありまして、ここ三十年ぐらいのことです。この点でも日本は非常に先駆的な位置を占めておりまして、現在もゼオライトの利用に関する会議は頻繁に開かれているわけですが、常時日本はそのリードをしているということが言えます。

我が国はかつて最も多く天然ゼオライトを利用してきました。特に、山形県と福島県との境界に近い板谷にあるジークライト化学鉱業株式会社一社で生産された天然ゼオライトは昭和四十八年に約四万トンに達しています。これは現在の合成ゼオライトが二万二千から三万トンぐらいだと言われているわけですから、とても量でありまして、恐らくこれは有史以来で最大のゼオライトの利用量であろうと思います。現在はかなり天然ゼオライトを使う量が減っておりますから、この記録が更新されるかどうかはわかりません。

板谷のゼオライトが何に使われたかと申しますと、主として製紙用として利用されてきました。紙の主要な原料はもちろんパルプからとった繊維、セルローズであります。セルローズだけで紙をつくったとする透き通っていて何か書くには適しないわけです。それを透き通らないようにするためには、ファイラーを加えなくてはなりません。ゼオライトがファイラーとして使われたのは、天然ゼオライトの細粒であることと、色が比較的白いことを利用したものでありまして、本格

的な特性を利用したとは言いがたいものです。

この天然ゼオライトの製紙用ファイラーとしての利用は今は大変少なくなっています。それはなぜかといいますと、二つの理由があります。一つはライバルとなった中国産のタルクという粘土鉱物が、非常に細粒で白色度が高い、しかも大変に安いということがあります。それから他の一つは、ゼオライトには多かれ少なかれ硬いシリカ鉱物が含まれていることです。これは実際には少量でも、工業的になりますと大変なデメリットになるわけです。何故デメリットになるかというと、紙をカッターで切るわけですけれども、その時に硬い物質があると歯こぼれがするわけで、たくさん量になりますとこれはばかにならないデメリットであります。この二つの理由により最近製紙用ファイラーはほとんど中国産のタルクに取ってかわられているという状況であります。

近年はまたゼオライトの特性を意識した利用が、わずかながらふえてはきています。非常に身近な例としては、冷蔵庫の脱臭剤があります。市販されている冷蔵庫の脱臭剤の中にはよく「ゼオ」とついているものがありますけれども、これは天然ゼオライトを粉末にして、いろいろなものを混ぜてつくったものであります。それから結構使われているものに家畜の飼料にゼオライトを加える利用があります。そうしますと、お腹の中に発生するガスの吸着や脱臭の効果があります。

最近一番注目されているのは、ペットのトイレ用であります。これはどこの家でも犬や猫を家の中で飼うようになってきました。そのトイレの臭いをとって固めてしまう衛生用としてゼオライトは売れていて、しかも高く売れているわけがあります。これは日本での発明でありますけれども、今世界じゅうに広まっているようであります。いずれも臭いを吸着したいという身近な要求に応えたものであります。

これで私の話はおしまいでございますけれども、今日は人間生活に非常に役に立っている石もあるのだという例としてゼオライトを取り

上げたわけであります。ゼオライトというのは多分皆さんが余りなじみのないものかと思いますが、まだまだこれから用途が開ける可能性のある未利用資源のうちに入ります。

実際、石には役に立つものが沢山あるわけで、天然資源の多くは石からとられ、例えば金、銀、銅、鉛、亜鉛などはいずれも石から取っているわけです。ただ、金、銀、銅、鉛などの場合は何を利用していかといいますと、元素そのものの特性を利用するものでありますが、今お話をしましたゼオライトとか、よく似たものに粘土鉱物がありますが、すけれども、これらは元素そのものの特徴というよりは鉱物をつくっている基本である結晶構造からくる特性を利用するという事で非常に特徴があるわけであります。

(東京大学総合研究資料館教授)